

상용 커먼레일 디젤기관에서 바이오디젤유(20%) 적용시 내구특성 및 배기배출물 특성 연구

최 승 훈¹⁾ · 오 영 택²⁾

전주대학교 HUNIC-AMTI 사업단¹⁾ · 전북대학교 기계공학과, 전북대학교부설 공학연구원 공업기술연구센터²⁾

A Study on Characteristics for Emission Characteristics and Durability with Biodiesel Fuel(20%) in a Commercial Common Rail Type Diesel Engine

Seunghun Choi¹⁾ · Youngtaig Oh²⁾

¹⁾Cooperation of HUNIC-AMIT, Jeonju University, Jeonbuk 570-759, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Research Center of Industrial Technology, Engineering Research Institute, Jeonbuk 561-756, Korea

(Received 21 September 2006 / 15 November 2006)

Abstract : A CRDI diesel engine used to commercial vehicle was fueled with 20% biodiesel fuel(BDF 20) in excess of 150 hours. Engine dynamometer testing was completed at regularly scheduled intervals to monitor the engine performance and exhaust emissions. The engine performance and exhaust emissions were sampled at 1 hour interval for analysis. Also, BSEC with BDF 20 resulted in lower than with diesel fuel. Since the biodiesel fuel used in this study includes oxygen of about 11%, it could influence the combustion process strongly. So, BDF 20 resulted in lower emissions of carbon monoxide, carbon dioxide, and smoke emissions without special increase of oxides of nitrogen than diesel fuel. It was concluded that there was no unusual deterioration of the engine, or any unusual change in exhaust emissions from using the BDF 20.

Key words : CRDI diesel engine(커먼레일 디젤기관), Biodiesel fuel(바이오디젤유), BSEC(brake specific energy consumption; 에너지소비율), Emission(배기배출물), Durability(내구성)

1. 서 론

최근 유가 상승과 맞물려 전세계적으로 각 국가의 에너지수급 대책으로서 석유계 에너지를 대체할 대체에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 대체에너지 중 바이오디젤유¹⁻⁶⁾는 자연 친화적이며, 재생가능한 연료로서 전세계 어느 곳에서든지 지역의 풍토에 맞는 농업 생산물을 이용하여 생산이 가능하다는 장점이 있어 많은 관심의 대상이 되어왔다. 현재까지 연구결과들을 살펴보면

각국의 지역 농산물의 생산품에 따라서 대두유, 채종유, 코코넛유, 팜유 등을 이용한 바이오디젤유의 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 국내에서 생산되는 바이오디젤유는 국내 주요 농산물인 쌀의 가공부산물인 쌀겨¹⁾와 대량수입가능한 대두유로부터 주로 생산되고 있다.

국내에서는 1990년대 중반부터 바이오디젤유의 생산 및 적용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 현재 기계적 분사방식 디젤기관에서는 거의 실용화 단계에 있다. 바이오디젤유는 경유와 성상이 비슷하며, 연료 자체에 다량의 산소를 함유하고

*Corresponding author, E-mail: ohyt@chonbuk.ac.kr

있어 특히, 고부하 및 고회전 속도 영역에서 매연저감에 효과적인 장점⁷⁻¹⁰⁾을 갖고 있다. 하지만, 점도가 경유의 경우보다 약간 높고 저온유동점이 높기 때문에 순수 바이오디젤유를 국내 동절기와 같은 저온 상태에서 사용하는 데는 어려움¹¹⁻¹³⁾이 있다. 따라서 상용 경유와 바이오디젤유를 혼합하여 사용하는 방법을 선택하고 있으며, 기계적인 분사방식 디젤기관에서는 바이오디젤유 20%이하의 적용이 안정적이라고 보고되고 있다.^{1,6)}

그러나, 최근 연비개선과 배기배출물 저감 측면에서 세계적으로 큰 수요를 보이고 있는 커먼레일(Common rail direct injection) 방식의 디젤기관에 대해서는 바이오디젤유의 적용에 대한 연구가 초기단계에 머물러 있다. 특히, 커먼레일 방식 디젤기관의 주요부품 제조사인 BOSCH 사에서는 5vol-% 이상의 바이오디젤유를 커먼레일 방식 디젤기관에 적용한 경우 자사 제품에 대한 신뢰성을 보장할 수 없다는 제한 조건을 제시하고 있으며, 이는 소비자에게 신뢰성을 줄 수 있는 선행연구들이 적기 때문으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 상용화된 커먼레일 방식 디젤기관에 상용경유 및 대두유 계열의 바이오디젤유 20% 혼합연료(이하 BDF 20%)를 장시간 적용하였을 경우 BDF 20%에 대한 기관 내구성 및 배기배출물 변화 특성을 파악하고 BDF 20%를 장시간 운전시에 대두될 수 있는 문제점을 고찰하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 연료

실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 상용 커먼레일 방식의 디젤기관이며, 기관부하와 기관회전속도는 엔진 동력계에 의해 임의로 조절할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에 나타내었다.

Table 2는 실험에 사용된 연료 특성을 나타낸 것이다. 바이오디젤유는 경유에 비해 약간 낮은 발열량을 갖고 있지만, 세탄가는 경우보다 높다. 또한 바이오디젤유는 탄소함량이 경유보다 적어 발열량이 약간 저하되지만, 경유자체에 내포하고 있지 않은

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	D-ENG, D4EA
Number of cylinder	4
Bore × Stroke(mm)	83 × 92
Displacement(cc)	1991
Compression ratio	21
Combustion chamber	Toroidal
Coolant temperature(°C)	80 ± 2
Injection type	Common rail direct
Injection pressure(Max.)(bar)	1350

Table 2 Properties of test fuel

	Diesel fuel	BDF
Calorific value[MJ/kg]	43.96	39.17
Cetane number	51.4	57.9
Sulfur(wt%)	0.05	0
Carbon(wt%)	85.83	76.22
Hydrogen(wt%)	13.82	12.38
Oxygen(wt%)	0	11.03

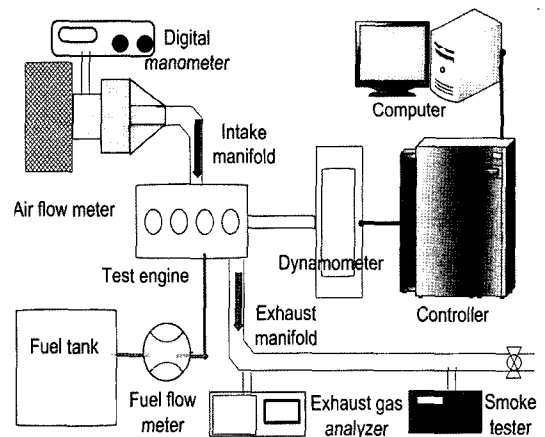


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

산소를 약 11% 함유하고 있다. 실험에 사용된 연료는 상용연료인 경유와 바이오디젤유 20%를 체적비율로 혼합한 BDF 20%(질량비로는 약 20.2%)를 이용하였다.

2.2 실험 방법

장시간 내구성을 시험하기 위하여 엔진 동력계에 장착된 실험용 엔진을 이용하여 워밍업이 끝난 상태에서 엔진의 최대출력이 발생하는 기관회전속도

4000rpm에서 90% 부하로, 150시간이상 BDF 20%를 적용하여 운전하였으며, 기관성능 및 배기배출물을 1시간 간격으로 측정하였다. 실험시 냉각수 온도는 $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하였다. 또한 BDF 20%가 배기가스 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 배기다기관으로부터 300mm 하류에 매연측정장치(HBN-1500; Korea)를 사용하여 매연의 농도를 매 1시간마다 3회 반복 측정하여 평균값을 취하였으며 CO_2 , O_2 , 및 NO_x 의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 전기화학적셀 방식의 배기가스 분석기(Greenline MK 2; Italy)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지 소비율($\text{MJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$)로 계산하였으며, 전체적인 실험 장치의 계략도는 Fig. 1과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기관성능 비교

Fig. 2는 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용하여 4000rpm, 90%부하에서 150시간 운전하는 동안 출력특성을 파악하기 위하여 기관 운전 시간대별로 나타난 것이다. BDF 20%를 사용한 경우 경유만을 사용한 경우보다 출력은 약간 낮게 나타나며, 평균적으로 약 8% 정도 낮게 나타나고 있다.

Fig. 3은 Fig 2와 동일한 조건에서 에너지소비율을 시간대별로 나타낸 것으로, BDF 20%를 사용한 경우 실험 초기에는 경유만을 적용한 경우와 비교하여 약 3.2%가 저하되지만, 실험을 수행해 나갈수록 경유만을 적용한 경우와 유사하거나, 약간 개선

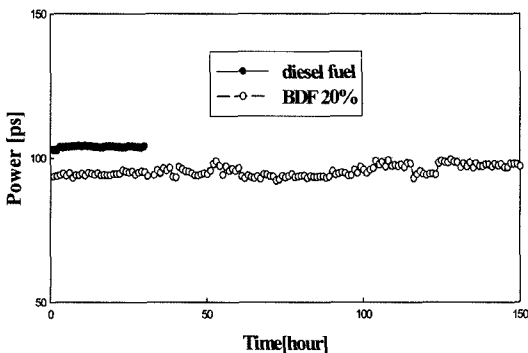


Fig. 2 The comparison of power versus time variation

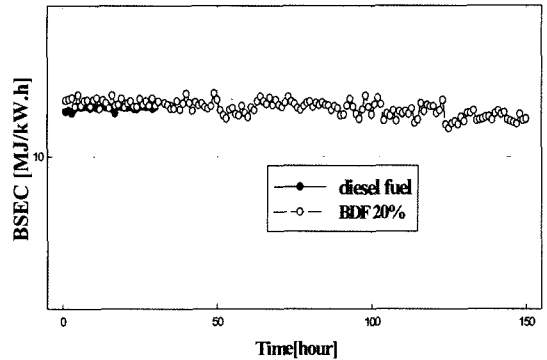


Fig. 3 The comparison of BSEC versus time variation

되는 경향을 나타내고 있다.

3.2 배기배출물 비교

Fig. 4는 BDF 20%를 사용할 경우 매연의 배출 농도를 경유만을 적용한 경우와 비교하여 시간대별로 나타낸 것이다. 전체적으로 경유만을 사용한 경우보다 매연배출농도가 현저하게 작게 나타남을 알 수 있으며, 평균 47%의 저감율을 보이고 있다. 또한, 장시간 BDF 20%를 사용하여 운전하여도 매연의 농도는 큰 변화추이를 나타내지 않고 있다. 이는 BDF 20%를 사용할 경우 연료속에 함유하고 있는 산소성분에 기인하여 연소를 개선시켜 탄화수소 성분의 산화를 촉진시키기 때문으로 생각된다.

일반적으로 알려진 바와 같이 디젤기관의 연소는 실린더 내에서 고온의 압축공기에 의해 자연 착화되는 방식인데, 연료가 실린더 내에 분사될 때 착화 시까지의 착화지연기간이라고 하며, 착화지연된 다량의 연료가 실린더 내에 축적되어 착화될 경우에

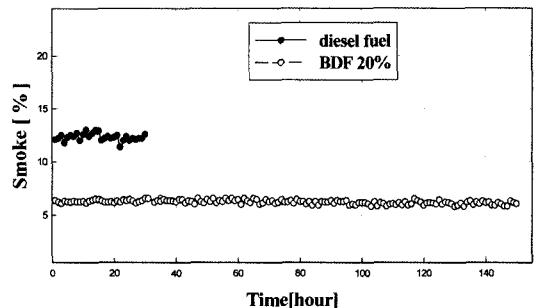


Fig. 4 The comparison of smoke emission versus time variation

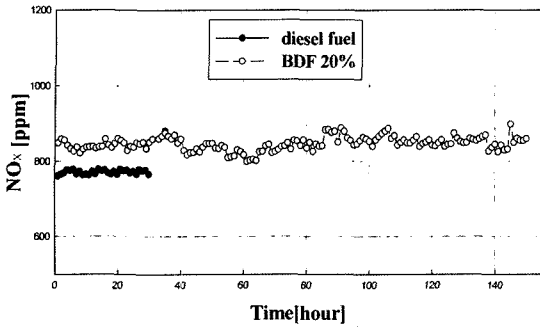


Fig. 5 The comparison of NOx emission versus time variation

는 일시에 연소되어 기관에 충격을 줌과 동시에 연소효율을 떨어뜨린다.¹⁴⁾

Fig. 5는 BDF 20%를 사용한 경우 NOx의 배출특성을 시간대별로 나타낸 것이다. BDF 20%를 사용할 경우 경유만을 사용한 경우보다 전체적으로 약 10%내외의 증가율을 보이고 있다. 이는 전에 언급한 바와 같이 BDF 20%에 포함된 산소의 영향으로 인하여 경유만을 사용한 경우보다 연소속도 및 연소온도의 증가로 NOx의 생성이 약간 더 촉진되었기 때문으로 사료된다.

그러나, 전체적인 매연과 NOx 배출특성을 살펴보면 매연의 저감율이 NOx의 증가율을 훨씬 상회하므로 BDF 20%를 커먼레일 방식 디젤기관에 적용하여도 큰 문제가 발생하지 않을 것으로 생각된다.

Fig. 6은 BDF 20%를 사용하여 운전한 경우 CO₂의 배출특성을 시간대별로 나타낸 것이다. 전체적으로 BDF 20%를 적용한 경우 경유만을 사용한 경우보다 CO₂의 배출량이 적게 나타남을 알 수 있다. 이는 BDF 20%를 사용하였을 경우 탄소의 함유량이 경유의 경우보다 작기 때문에 나타난 것으로 생각된다. 또한, 장시간 BDF 20%를 사용하여 실험하였을 경우에도 CO₂의 배출특성은 일정하게 감소함을 알 수 있어 바이오디젤유를 커먼레일 방식 디젤기관에 적용할 경우 CO₂의 배출량을 감소시킬 수 있어 교토기후협약에서 제안하는 지구온난화현상 방지도 효과적임을 알 수 있다.

바이오디젤의 원료인 바이오매스계 연료는 재배 시에도 태양광을 받아 광합성작용을 통한 CO₂의 저감을 이룰 수 있기 때문에 큰 효과를 기대할 수 있는 대체에너지원으로 생각된다.

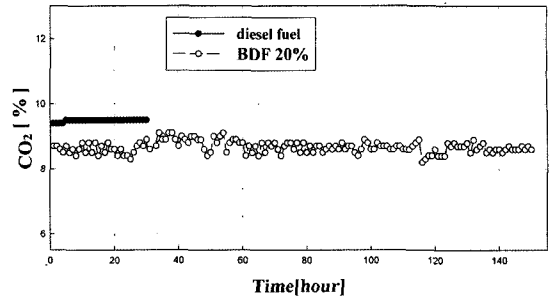


Fig. 6 The comparison of CO₂ emission versus time variation

3.3 기관 부품의 및 윤활유의 변화

Fig. 7은 BDF 20%로 장시간 운전한 후 인젝터 팁의 상태를 파악하기 위하여 실험을 종료한 후 분사노즐을 분리하여 연료 배출구멍이 위치한 인젝터 팁 상단부를 50배 확대하여 찍은 사진들이다. 그림에서 나타난 것과 같이 BDF 20%를 사용한 결과 인젝터 팁주위에 형성된 카본은 다른 연구결과¹³⁾에서와 같은 카본의 고착현상은 거의 없었다. 따라서, 기관 출력 및 배기가스 배출 특성이 BDF 20%로 장시간 운전하여도 전체적으로 균일하고, 유사한 경향을 보인 것은 통상 인젝터 팁 부분에 형성되는 카본의 양이 적어 분무의 미립화에 영향을 미치지 않았기 때문으로 생각된다.

Fig. 8은 Fig. 7과 동일한 조건에서 기관의 부품 특성을 파악하기 위하여 기관을 분해 후 촬영한 실린더와 실린더 헤드 사진을 나타낸 것이다. 실린더와 피스톤을 비롯한 각 밸브들을 조사하여 본 결과 연소상태는 양호하였으며, 연소실내에는 전반적으로 카본의 퇴적현상은 나타나지 않았음을 확인하였다.

Table 3은 실험 후의 윤활유의 특성변화를 파악하고자 실험 후 엔진 오일을 샘플링하여 한국석유품

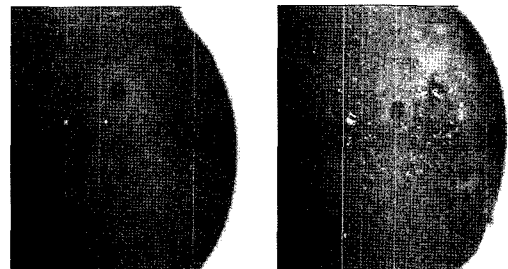


Fig. 7 Photography of injector tip after durability test

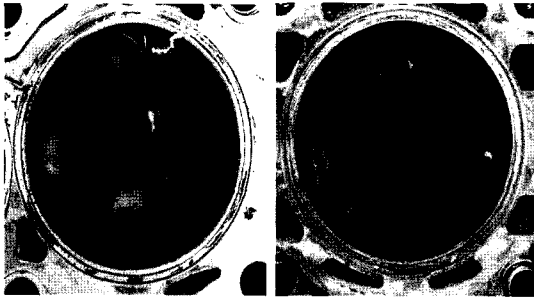


Fig. 8 Photography of cylinder and valves after durability test

Table 3 Properties of engine oil

Index		New oil	BDF5%
Water content (vol%)		0.18924	0.29092
Flash point, COC (°C)		220.0	224.0
Kinetic viscosity (mm ² /s)	40°C	68.03	68.25
	100°C	10.96	11.06
Viscosity index		152	154
Viscosity ratio		0.98	1.00
Pour point(°C)		-30.0	-32.0

질검사소에 의뢰·분석하여, 신유와 비교하여 나타낸 것이다. BDF 20%를 실험연료로 사용하여 장시간 약조건하에서 운전하여도 윤활유의 특성이 악화되지 않고 동점도를 비롯한 산화안정도가 양호하게 나타났다.

4. 결론

디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유 20%를 상용경유와 혼합하여 상용 커먼레일 방식의 디젤기관에 장시간 적용하였을 경우 기관성능 및 배기가스 배출특성과 기관부품의 변화 상태를 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) BDF 20%를 사용하여 장시간 운전한 결과 상용 경유를 사용한 경우 출력은 8%정도 저하되며, 이는 경유와 바이오디젤유 사이의 발열량의 차이때문으로 생각된다.
- 2) BDF 20%를 사용하여 장시간 운전한 결과 발열량이 낮음에도 불구하고 에너지소비율은 경유와 거의 유사하거나 실험 중반부 이후에 약간 개선되는 경향을 알 수 있었다.
- 3) BDF 20%를 사용한 경우 매연이 경유를 사용한

경유보다 약 47% 감소하고, NOx는 약 10% 증가하였으나, 전체적인 매연의 저감율과 NOx의 증가율 측면에서 매연의 저감율이 훨씬 커서 커먼레일 방식 디젤기관에 대한 대체연료로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

- 4) BDF 20%를 적용하였을 경우 CO₂는 전 운전영역에서 경유의 경우보다 감소하며, 바이오디젤유의 원료인 바이오매스 재배시의 광합성 작용을 통한 CO₂의 저감효과까지 감안하면 전체적인 CO₂ 저감에 큰 효과가 있을 것으로 생각된다.
- 5) 커먼레일 방식 디젤기관에 BDF 20%를 적용하여 4,000rpm, 부하 90%의 비교적 약조건에서 장시간 운전한 경우 기관부품 및 윤활유에 큰 변화가 나타나지 않아 기관의 안정성 측면에서도 BDF 20%의 가능성을 시험할 수 있었다.

이상에서와 같이 기관의 여건상 약조건하에서 BDF 20%를 상용 커먼레일방식 디젤기관에 장시간 적용할 경우 기관의 부품에 악영향을 미치지 않으며, 기관출력 및 에너지소비율이 경유를 적용한 경우와 큰 차이가 없으며, 기관의 구성변경없이도 매연을 현저하게 저감시킬 수 있는 저공해 대체연료로서 타당함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2004년도 대체에너지 기술개발 및 실용화 평가사업(2004-N-B110-P-01-3-010-2004)의 지원으로 수행되었으며, 관계 체위께 깊이 감사드립니다.

References

- 1) Y. T. Oh and S. H. Choi, "A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(I)," Transactions of KSAE, Vol.10, No.2, pp.15-22, 2002.
- 2) B. C. Choi, C. H. Lee and H. J Park, "Power and Emission Characteristics of DI diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel," Journal of KSPSE, Vol.6, No.3, pp.11-16, 2002.
- 3) K. W. Scholl and S. C. Sorenson, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct

- Injection Diesel Engine,” SAE 930934, 1993.
- 4) M. Ziejewski, K. R. Kaufman, A. W. Schwab and E. H. Pryde, “Diesel Engine Evaluation of an Nonionic Sunflower Oil-Aqueous Ethanol Microemulsion,” Journal of the American Oil Chemists Society, Vol.61, No.10, pp.1620-1626, 1984.
 - 5) L. G. Schumacher, S. C. Borgelt and W. G. Hires, “Soydiesel/Biodiesel Blend Research,” ASAE 936523, 1993.
 - 6) D. L. Reece and C. L. Peterson, “A Report on the Idaho On-road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel,” ASAE 935018, 1993.
 - 7) W. F. Marshall, “Effects of Methyl Esters of Tallow and Grease on Exhaust Emissions and Performance of a Cummins L10 Engine,” Itt Research Institute, National Institute for Petroleum and Energy Research, 1993.
 - 8) Y. T. Oh, “Vegetable Oils for Diesel Fuel Substitutes,” Journal of Korea Society of Mechanical Engineers, Vol.18, No.2, pp.72-92, 1996.
 - 9) K. H. Ryu, Y. J. Yun and Y. T. Oh, “A Study on the Usability of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine,” Proceedings of the KSME 2002 Spring Annual Meeting, pp.2025-2030, 2002.
 - 10) K. H. Ryu, Y. J. Yun and Y. T. Oh, “The Characteristics of Performance and Emissions of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel,” Proceeding of the KSAE Gwangju-Honam Branch 2002 Spring Conference, pp. 9-16, 2002.
 - 11) K. H. Ryu, C. Y. KIM and Y. T. Oh, “Durability of IDI Diesel Engine with Biodiesel Fuel,” Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.426-431, 2002.
 - 12) Y. T. Oh, S. H. Choi, K. S. Kwon and N. H. Kim, “A Study of Characteristics on Blending Rates of Biodiesel Fuel in a Common-Rail Diesel Engine,” Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.776-781, 2005.
 - 13) K. H. Ryu and Y. T. Oh, “Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel,” Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp.32-38, 2004.
 - 14) S. H. Choi and Y. T. Oh, “Experimental Study on Emission Characteristics and Analysis by Various Oxygenated Fuels in a DI Diesel Engine,” Int. J. Automotive Technology, Vol.6, No.3, pp.197-203, 2005.